

Manfred Fishedick, Katja Witte & Daniel Vallentin

## Die Energiewende – Zwischen Erfordernis und Ereignis

### Einleitung

Die Energiewende ist der Umstieg der Energieproduktion, -versorgung und -nutzung von nuklearen und fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien (Mattes u. a. 2015: 255). Dieser tiefgreifende Wandel des über viele Jahre gewachsenen Energiesystems in Deutschland umfasst zahlreiche, hoch komplexe Aspekte und Prozesse. Aus einer eher technologischen Perspektive heraus betrachtet sind die Ziele der Energiewende eine Weiterentwicklung und Dezentralisierung des technischen Stromsystems und seiner Komponenten (Speicher, Netze, Management), die Steigerung der Energieeffizienz (bspw. in industriellen Prozessen sowie in Haushalten, durch energetische Modernisierung des Gebäudebestandes oder eine intelligenter Nutzung der Wärme) sowie die Elektrifizierung des Verkehrs.

Weil Energie und Technologien ein Bestandteil gesellschaftlicher Entwicklungen sind, ist die Umstellung der Energieversorgung gesellschaftlich eingebettet. Die Gesellschaft determiniert zum einen die Voraussetzungen für die Umsetzung der Energiewende bzw. ist verantwortlich für die Erfolgs- und Misserfolgsbedingungen. Zum anderen stößt die Energiewende selbst gesellschaftliche Veränderungen an. Zum Beispiel wenn Bürgerinnen und Bürger auf klimafreundliche Verkehrsträger umsteigen oder Energie durch erneuerbare Energietechnologien selbst erzeugen. Damit ändert die Energiewende deren Nutzerverhalten oder auch die Beziehung zwischen Produzenten und Konsumenten.

Als sozio-technischer Veränderungsprozess ist die Energiewende durch unterschiedlichste Prozesse innerhalb und zwischen den einzelnen Systemen der Gesellschaft geprägt. Zu diesem Mehrebenensystem zählen beispielsweise das politische und das ökonomische sowie das gesellschaftliche System, ihre jeweiligen Diskurse und Narrative oder rechtlichen und politischen Rahmenbedingungen. Auch die Akzeptanz der Bevölkerung und ihre Unterstützung oder ihr aktiver Widerstand gegen Projekte der Energiewende wie den Netzausbau oder den Bau von Energieerzeugungsanlagen prägen die Umsetzung der Energiewende.

## Die Energiewende – Zwischen Erfordernis und Ereignis

Dabei ist die Frage, inwiefern neue Elemente des sich wandelnden Energiesystems integriert (Innovationen) werden können und Überkommenes abgelöst werden (Exnovationen) kann. Die Energiewende wird als ein Zusammenspiel sozialer, technologischer und politischer Innovationsprozesse verstanden.

Das aktuelle Energiekonzept der Bundesregierung beschreibt bis zum Jahre 2050 den politischen Zielkorridor für die Energiewende. Ziel ist die Reduktion der Treibhausgasemissionen, die Halbierung des Primärenergieverbrauchs, der Anstieg des Anteils der erneuerbaren Energien und die Senkung des Primärenergiebedarfs im Bereich der Wohngebäude bis zum Jahr 2050 (vgl. Bundesregierung 2013 sowie Abschnitt zur europäischen und nationalen Klimapolitik).

Die von der Bundesregierung berufene Ethik-Kommission für eine sichere Energieversorgung stellte im Jahr 2011 die Energiewende auf einen breiten gesellschaftlichen Konsens zum Ausstieg aus der Atomenergie und zum Übergang zu erneuerbaren Energien. Seither ist nicht mehr das „ob“, sondern das „wie“ die Kernfrage der Energiewende. Weitere Schlüsselbegriffe der Ethik-Kommission sind „Nachhaltigkeit“ und „Verantwortung“, was deutlich macht, dass es im Kern der Debatte zur Energiewende um die Gerechtigkeit für gegenwärtige und kommende Generationen geht (Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung 2011).

Dies zeigt, dass die Energiewende nicht nur ein Projekt zur Modernisierung des Energiesystems, sondern ein gesellschaftliches Projekt ist. Grundsätzliches Ziel der Energiewende ist es also, mittel- bis langfristig ein effizientes und erneuerbares Energiesystem zu schaffen und dabei die Bürgerinnen und Bürger zur gerechten Teilhabe an den anstehenden energiepolitischen und energiewirtschaftlichen Entscheidungen zu befähigen.

Angesichts der vielfältigen miteinander verknüpften Handlungsebenen und -dimensionen handelt es sich bei der Energiewende um eine hochgradig komplexe Transformationsaufgabe. Dies zeigt sich besonders anschaulich am Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Erneuerbaren müssen in bestehende Energieerzeugungs- und -netzstrukturen integriert werden. Dabei stellen sich Fragen, wie mit einem hohen Anteil fluktuierender Energiemengen im System umzugehen ist und mithilfe welcher Infrastrukturen und Prozesse überschüssige Energie in nachfrageschwachen Zeiten gespeichert und in Zeiten hoher Nachfrage in Strom oder Wärme umgewandelt werden kann. Überdies verschieben sich die geographischen Produktionszentren von Strom und Wärme zunehmend in Richtung jener Regionen mit hohen Potentialen für Wind, Sonne oder Biomasse im Norden und Süden Deutschlands, während bislang Regionen in der Nähe großer Kohlevorkommen die wichtigsten Standorte für die

Erzeugung von Strom und Wärme waren. Auch mit dieser Entwicklung ist ein Umbau von Infrastrukturen wie den Stromnetzen und sind strukturpolitische Veränderungen in „alten“ und „neuen“ Energieerzeugungsregionen verbunden.

Derartige Veränderungen gehen mit enormen Investitions Herausforderungen einher und erfordern die Unterstützung unterschiedlichster Akteure. Dabei müssen die oftmals noch bestehenden Beharrungskräfte etablierter Akteursgruppen nicht nur in Bezug zu Finanzierungen überwunden werden. Es gilt, nach Möglichkeit alle Stakeholder aus den Bereichen Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft an der Umsetzung bzw. an dem Diskurs zur Energiewende zu beteiligen und zu den jeweils anstehenden Sachfragen die passenden Ansätze für die Einbindung der Akteure zu nutzen.

Im Rahmen der Beteiligung von Akteuren geht es auch darum auszuloten, welche Instrumente und Anreize für die Realisierung von politischen Zielen und Investitionsvorhaben erforderlich und geeignet wären. Dies kann ein breites Set an verschiedenen Ansätzen beinhalten, wie Forschungs- und Entwicklungsprojekte, Marktinstrumente (z. B. ökonomische Anreize zur Bereitstellung von Regelenergie zum Ausgleich der fluktuierenden erneuerbaren Energien oder ein Fonds für Effizienzmaßnahmen) oder regulatorische Maßnahmen (z. B. die Einführung von Emissionsstandards oder Quoten für bestimmte Energieprodukte).

Für das Design von Politikinstrumenten mit einer starken Wirkung auf bestimmte oder mehrere Bevölkerungsgruppen ist es von hoher Bedeutung, deren energiebezogene Mentalitäten, vorherrschenden Verhaltensmuster und sozialen Praktiken zu verstehen. Hier geht es um die Schaffung wirklicher Anreize für ein energiebewusstes Verhalten. Bei der Analyse jener Verhaltensmuster und Praktiken spielt die Wissenschaft eine zentrale Rolle. Neben der Analyse und Durchdringung komplexer Sachfragen besteht die Aufgabe der Wissenschaft zunehmend darin, als „Wissens-Broker“ für Akteure aus Politik, Industrie und Zivilgesellschaft zu agieren. Dies bedeutet beispielsweise, Beteiligungsprozesse zu bestimmten Fragestellungen neutral zu begleiten, mit Fachwissen zu hinterlegen und gemeinsam mit den Akteuren eine Zieldimension zu entwickeln, an der sich die Energiewende ausrichten kann. Erst dann kann der Weg in eine gleichermaßen nachhaltige, sichere und bezahlbare Energieversorgung konkret ausgestaltet werden.

In dem vorliegenden Kapitel werden die verschiedenen Herausforderungen zur Umsetzung der Energiewende genauer beleuchtet und dargestellt (Fischedick u. a. 2014) und schließlich in zentrale Schlussfolgerungen zur Realisierung der Energiewende überführt.

### Politische Herausforderungen

Eine intelligente Gestaltung eines integrativen Politikansatzes über alle relevanten Ebenen hinweg von der internationalen Klimapolitik, über die EU und die nationale Ebene bis hin zu den Bundesländern und den Kommunen sowie Regionen ist die große politische Herausforderung, die es zur Umsetzung der Energiewende zu leisten gilt.

#### a. Internationale Klimapolitik

Die Unterzeichnung des sogenannten Paris Agreement im Rahmen der internationalen Klimaschutzverhandlungen am 12. Dezember 2015 in Paris hat den politischen Klimaschutzbemühungen Schwung gegeben. Die 21. Vertragsstaatenkonferenz der Klimarahmenkonvention hat das sogenannte „Paris Agreement“ (United Nations 2015) angenommen. Nach 25 Jahren UN-Klimadiplomatie haben die Regierungen der Welt zum ersten Mal einen umfassenden Vertrag verabschiedet, der Klimaschutzbeiträge von allen Staaten vorsieht. Als langfristiges Ziel wurde nunmehr vertraglich verankert, dass der globale Temperaturanstieg deutlich unter 2°C gehalten werden soll (Art. 2). Mit der Formulierung „deutlich unter“ ist gemeint, dass Anstrengungen unternommen werden sollen, um den Temperaturanstieg auf 1,5°C zu begrenzen. Die Verankerung des 1,5°C-Limits ist ein Verhandlungserfolg der am meisten verwundbaren Staaten, der kleinen Inselstaaten und der am wenigsten entwickelten Länder. Nicht zuletzt hat dafür eine „high ambition coalition“ gesorgt, denen neben den Inselstaaten auch die EU, die USA unter Führung des damaligen U.S.-Präsidenten Barack Obama und Brasilien angehören. Dies beendet die statische Teilung der Welt in „Industrie-“ und „Nicht-Industriestaaten“ durch die Klimarahmenkonvention, die mit dem Kyoto-Protokoll für fast zwanzig Jahre zementiert worden war.

Nun kommt es darauf an, die formulierten Ziele und Handlungsaufforderungen in konkrete politische Schritte und Maßnahmen zu überführen. Dies ist auch für die Realisierung der deutschen Energiewende von hoher Bedeutung. Konkret enthält das Pariser Abkommen die Zielsetzung, im Verlaufe der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die Treibhausgasneutralität zu erreichen. Den beteiligten Ländern wird aufgetragen, bis zum Jahr 2020 ein Konzept vorzulegen, wie dieses Ziel in ihrem jeweiligen nationalen Kontext erreicht werden kann. Dies verdeutlicht, dass es unmittelbare Wechselwirkungen zwischen den politischen Zielen und Maßnahmen der Energiewende in

Deutschland und den klimapolitischen Abkommen auf internationaler Ebene gibt. Internationale und nationale Ziele sowie Instrumente müssen deshalb kohärent sein und intensiv miteinander abgestimmt werden, dies ist eine der zentralen politischen Herausforderungen zur Umsetzung der Energiewende.

## b. Europäische und Nationale Klimapolitik

Die internationalen Beschlüsse sind, wie erwähnt, die zentrale Leitlinie für energie- und klimapolitische Ziele und Maßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene. Das 2°C-Ziel und darüber hinausgehende Bemühungen, den globalen Temperaturanstieg auf 1,5°C zu begrenzen, erfordern auch in Deutschland und der Europäischen Union zusätzliche klimapolitische Maßnahmen.

Dabei braucht es eine Balance zwischen der Umsetzung kurzfristig erschließbarer Beiträge zur Emissionsreduktion (insbesondere durch die konsequente Verbesserung der Energieeffizienz) und der Durchführung vorbereitender Maßnahmen für eine zukünftig sehr viel weitergehende Reduktion der Emissionen (z. B. den Aufbau von verschiedenen Technologien zur Speicherung bzw. anderweitigen Nutzung von Stromüberschüssen aus einem künftigen Überangebot durch regenerativ erzeugte Energietechnologien, Stichwort „Power-to-X-Strukturen“).

Ein wichtiges Element einer klimapolitisch ausgerichteten Energiepolitik ist die Einleitung eines geordneten, schrittweisen Ausstiegs aus der Kohleförderung und -nutzung in Deutschland und Europa. Hierbei geht es darum, frühzeitig einen politischen Prozess in die Wege zu leiten, der einerseits den dafür notwendigen Umbau des Energiesystems forciert und andererseits sozial- und strukturpolitische Implikationen eines solchen Ausstiegs erkennt und die Schaffung neuer Perspektiven fördert.

Die deutschen Bemühungen für Klimaschutz und insbesondere die Energiewende werden international aufmerksam beobachtet. Kann hier gezeigt werden, dass eine deutliche Minderung der Emissionen nicht in Widerspruch zu Wohlstand und Entwicklung steht, so hat dies erhebliche internationale Signaleffekte. Nach den Verhandlungen in Paris sind nun die Praktiker und Umsetzer in den Regionen, Städten, Gemeinden und Unternehmen gefordert. Auf Bundesebene sind die maßgeblichen Zielsetzungen und Meilensteine für die nationale Energiepolitik im „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ der Bundesregierung vom 28. September 2010 zusammenfassend dargestellt. Aufgrund der damit verbundenen

Herausforderungen ist die Formulierung der Klimaschutzziele hierbei von übergeordneter Bedeutung. Mit einer Minderung der Treibhausgasemissionen um mindestens 80% bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 1990 werden dabei Vorgaben gemacht, die im Einklang mit den europäischen Zielsetzungen sind und von der Europäischen Union schon 2007 formuliert wurden. Die Klimaschutzziele, so die Zielformulierung, stehen dabei im Kontext mit der Vorgabe bezahlbarer Energiepreise und der Systemstabilität. Versorgungssicherheit sowie Wettbewerbsfähigkeit und Sozialverträglichkeit sind dementsprechend die weiteren Leitziele der deutschen und europäischen Energie- und Klimapolitik.

Als zentrale Ansätze für die Erreichung der Klimaschutzziele nennt das Energiekonzept der Bundesregierung die Steigerung der Energieeffizienz und den Ausbau der erneuerbaren Energien. Für die Kernkraftwerke wurde im Energiekonzept zunächst eine Laufzeitverlängerung von durchschnittlich zwölf Jahren gegenüber den bis dato gültigen Beschlüssen erwogen. Nach den Reaktorunfällen im japanischen Fukushima im März 2011 hat die Bundesregierung im Juli desselben Jahres das Energiekonzept allerdings noch einmal überarbeitet und insbesondere den sukzessiven Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2022 als ergänzende Zielsetzung formuliert. Dabei sind im März 2011 bereits acht der 17 Kernkraftwerke direkt stillgelegt worden.

Das Energiekonzept der Bundesregierung formuliert in Bezug auf den Ausbau erneuerbarer Energien und die Erhöhung der Energieeffizienz konkrete Ziele für die Jahre 2020 und 2050. So sollen unter anderem der Primärenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 um 20% und bis 2050 um 50% gesenkt werden, der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch bis 2020 einen Anteil von 18% und bis 2050 von 60% erreichen sowie der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch bis 2020 mindestens 35% erzielen und bis 2050 80% betragen.

Die Umsetzung der ambitionierten Zielsetzungen wird zwangsläufig zu maßgeblichen strukturellen Veränderungen im Energiesystem innerhalb nur weniger Jahrzehnte führen. Strukturelle Veränderungen im Energiesystem sind dabei für Deutschland zwar nicht grundsätzlich neu, die Intensität und Geschwindigkeit des angestrebten Wandels aber bisher ohne historisches Beispiel. Dies führt gerade für eine Branche, die wie die Energiewirtschaft (und dabei insbesondere der Umwandlungssektor) durch hohe Zeitkonstanten gekennzeichnet ist, zu einer erheblichen Herausforderung.

### Technische Herausforderungen

Zentrale Voraussetzung für die Realisierung der Energiewende ist die Verfügbarkeit und Marktfähigkeit wichtiger Schlüsseltechnologien in den verschiedenen Sektoren. Aktuell vorliegende Studien zeigen, dass die Energiewende und eine ambitionierte Klimapolitik im Wesentlichen mithilfe bereits verfügbarer Technologien machbar sind. Im Rahmen des internationalen Deep Decarbonization Pathways Project (DDPP) findet diese These ihre Bestätigung (SDSN – IDDRI 2015). In dem Projekt wurden detaillierte Szenarien für eine Umgestaltung der Energiesysteme von 16 Ländern erstellt, die in Summe für rund drei Viertel der gegenwärtigen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich sind. Bei aller Unterschiedlichkeit der gewählten Länder-Studien (SDSN – IDDRI Countries 2015) können drei zentrale Elemente identifiziert werden, die für weitgehenden Klimaschutz bis zum Jahr 2050 offenbar unerlässlich sind:

- eine signifikante Erhöhung der Energieeffizienz,
- ein sukzessiver Wechsel hin zu CO<sub>2</sub>-freien bzw. CO<sub>2</sub>-armen Primärenergieträgern sowie
- eine deutlich verstärkte Nutzung von Strom als Endenergieträger.

Auch in der Deutschland-Studie des Projektes liegt das Schwergewicht auf der Ausschöpfung dieser drei Optionen. Dabei werden im Rahmen einer Metastudie drei bestehende Energieszenarien miteinander verglichen, die für sehr unterschiedliche Auftraggeber aus Politik und Wirtschaft entwickelt worden sind und insofern unterschiedliche Perspektiven spiegeln. Gemeinsam ist allen Szenarien, dass sie bis 2050 entsprechend den Vorgaben des Energiekonzeptes der Bundesregierung eine Minderung der Treibhausgasemissionen von 80 bis 90% (gegenüber 1990) beschreiben.

Die Szenarien machen deutlich, dass die Dekarbonisierung der Stromerzeugung und deutliche Effizienzsteigerungen im Gebäudebereich die zentralen Meilensteine für die Umsetzung der von der deutschen Regierung definierten Ziele sind. Eine CO<sub>2</sub>-freie Stromerzeugung und ein CO<sub>2</sub>-freier Gebäudebestand sind schon für die Erreichung des 80%-Ziels bis 2050 nahezu unerlässlich. Weitere strukturelle Veränderungen sind notwendig, wenn das THG-Minderungsziel deutlich über 80% hinausgehen soll. So wird in den Szenarien dann vermehrt Strom aus erneuerbaren Energien in Wasserstoff umgewandelt und damit indirekt Strom im Verkehrs- und Industriesektor zum Einsatz gebracht. Für den Aufbau der dafür notwendigen Infrastrukturen müssen heute schon die Grundlagen geschaffen werden. Eine mögliche Alternative oder Ergänzung dazu stellt die Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (Carbon

Capture and Storage, kurz CCS) dar. Diese Technologie ist in Deutschland allerdings sowohl politisch wie auch wirtschaftlich und gesellschaftlich zum Teil sehr umstritten (Pietzner u. a. 2014; Pietzner & Schumann 2012). Eine Studie von (Dütschke u. a. 2016) erwartet zumindest eine gewisse Akzeptanz für die Anwendungen von CCS im Bereich der Industrie. Grundsätzlich spielen jedoch Verhaltensweisen und -änderungen in den analysierten Szenarien nur implizit eine Rolle. Verhaltensbedingte Minderungspotentiale sollten daher in künftigen Szenariostudien tiefergehend untersucht werden.

### Herausforderung Kompatibilität des Energie-, Wärme- und Verkehrssektors

Um die Effizienz des deutschen Energiesystems zu erhöhen und Speichermöglichkeiten zu erschließen, ist eine stärkere Kopplung der Sektoren Energie, Wärme und Verkehr unerlässlich. Bislang ist diese nur punktuell erfolgt. Künftig soll die sogenannte „Sektorkopplung“ vor allem durch den starken Ausbau erneuerbarer Energien vorangetrieben werden. Ziel ist, dass nicht nur der Stromsektor auf erneuerbare Energien umstellt, sondern auch der Wärme- und der Verkehrsbereich stärker auf die Nutzung der erneuerbaren Energien setzen. Da zum Beispiel die Einspeisung aus Wind- und Photovoltaikanlagen in Abhängigkeit vom Wetter stark schwankt, muss das Stromsystem künftig wesentlich flexibler reagieren als es heute der Fall ist. (acatech/Leopoldina/Akademienunion 2015). Gibt es einen Stromüberschuss, müssen Kraftwerke heruntergefahren werden oder der Strom kann für die Wärme- oder Gaserzeugung genutzt werden. Speicher können andererseits Überschussstrom aufnehmen und im Bedarfsfall wieder abgeben. Dieser Ausgleich zwischen fluktuierender Erzeugung und Verbrauch entspricht dem Flexibilitätsbedarf eines Stromsystems. Um die Herausforderungen der Kompatibilität des Energie-, Wärme- und Verkehrssektors zu stemmen, ist insbesondere ein intelligentes Energie-Strommarktdesign zu realisieren. Dieses muss auf Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung ausgerichtet sein. Die für die Flexibilisierung des Stromsystems notwendigen Technologien stehen bereits teilweise zur Verfügung, einige müssen durch Forschung und Entwicklung bis 2050 noch ihre Marktreife erlangen. Dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten, wie ein emissionsarmes Stromversorgungssystem im Jahr 2050 aussehen könnte und welche Flexibilitätstechnologien in welchem Umfang eingesetzt werden können (acatech/Leopoldina/Akademienunion 2015).



Ein optimiertes Zusammenspiel zwischen dem Ausbau der erneuerbaren Energien und konventionellen Kraftwerken spielt besonders eine wichtige Rolle, wenn es um die Sicherung der Energieversorgung und die Systemstabilität geht. Durch neue und intelligente Netze und die Digitalisierung der Energiewende steigt die Komplexität der Steuerung. Flexibilitätsoptionen wie z. B. flexible Erzeugung, aber auch eine flexiblere Nachfrage (Demand-Side-Management), regelbare Energietechnologien wie Biogasanlagen oder solarthermische Kraftwerke mit integrierten Wärmespeichern sowie Speicheroptionen (Kurz- und Langzeitspeicher) sind zu erschließen und technisch miteinander zu koppeln.

### Infrastrukturherausforderung

Die Energiewende stellt eine enorme Infrastrukturherausforderung dar. Angesichts der bereits erwähnten Verlagerung von Energieerzeugungsstandorten in Regionen mit hohen Potentialen für erneuerbare Energien sind ein adäquater Ausbau sowie eine Ertüchtigung der Stromtransport- und -verteilsysteme eine Kernfrage der Energiewende. Für den Aufbau der dafür notwendigen Infrastrukturen müssen heute schon die Grundlagen geschaffen werden. Das deutsche Stromnetz umfasst Übertragungs- (Höchstspannung) und Verteilnetze (Hoch-, Mittel- und Niederspannung). Erstere transportieren den Strom deutschlandweit sowie grenzüberschreitend von den Erzeugungsstandorten zu den unterschiedlichsten Stromverbrauchsschwerpunkten. Hierfür werden große Entfernungen überwunden. Insgesamt beträgt die Stromkreislänge der Übertragungsnetze in Deutschland ca. 35.000 Kilometer. Die Betreiber dieser Übertragungsnetze sind neben der eigentlichen Energieübertragung zuständig für die Instandhaltung der Netze, den Ausbau und die Modernisierung der Stromleitungen. Sie müssen zudem für Stromhändler und -lieferanten den Zugang zu diesen Netzen sicherstellen und gewährleisten. Die Verteilernetze übertragen den Strom zu Umspannungswerken von Ballungszentren oder großen Industriebetrieben (Hochspannungsnetz) über regionale Transformationsstationen (Mittelspannungsnetz) bis hin zu den Endverbrauchern (Niederspannungsnetz).

Grundsätzlich sind die Anforderungen an die Stromnetze in den vergangenen Jahren stetig gestiegen. Gründe dafür sind die Zunahme des Stromhandels, der Ausbau der erneuerbaren Energien und die damit einhergehende Trennung von Stromerzeugungs- und -verbrauchsschwerpunkten. Hierdurch sind die Stromübertragungsmengen gestiegen, zudem lassen sich stärkere

Schwankungen in der Stromerzeugung einschließlich der damit verbundenen Netzbelastungen beobachten (BMW 2016). Der Netzausbau muss im Wesentlichen folgende Herausforderungen stemmen:

- Netzstabilität sichern: bedingt durch Schwankungen bei der Stromerzeugung erneuerbarer Energien wird es einen erhöhten Bedarf an Reserveleistung sowie Speichertechnologien geben.
- Koordination zentraler und dezentraler Stromerzeugung: eine Vielzahl kleiner Stromerzeugungsanlagen (z. B. Windkraft- und Photovoltaikanlagen) geht ans Netz, zudem werden viele derzeit in Betrieb befindliche Kraftwerke das Ende ihrer ökonomischen und technischen Lebensdauer erreicht haben. Eine größere Flexibilität des vorhandenen Kraftwerksportfolios ist notwendig sowie eine damit einhergehende Erweiterung und ein Umbau des Netzes in großem Maße. Netze, Erzeugung und Last müssen effizient und intelligent miteinander verknüpft werden, daher muss auch auf Akteursebene (z. B. Netzbetreiber, Planungs- und Genehmigungsbehörden, Bürgerinitiativen und -genossenschaften) ein Bewusstsein und müssen Wege für einen gemeinsamen Netzausbau geschaffen werden.
- EU-Stromhandel: Deutschland als Transitland zwischen den west- und osteuropäischen Strommärkten wird künftig mehr grenzüberschreitenden Stromhandel abwickeln als andere europäische Länder (BMW 2016; Bündnis 90 / Die Grünen 2011).

### Investitions Herausforderung

Die Umsetzung der Energiewende stellt eine große Herausforderung im Bereich Investitionen dar. Die Akteure der Energiewende müssen sich grundsätzlich auf veränderte Investitionscharakteristika für erneuerbare Energien und Energieeffizienztechnologien einstellen. Diese sind gekennzeichnet durch spezifisch hohe Anfangsinvestitionen und niedrigere variable Kosten im Vergleich zu konventionellen Technologien.

Die zu tätigen Investitionen beziehen sich dabei auf Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Strom- und Wärmebereich) sowie auf die daran geknüpfte Infrastruktur, wie beispielsweise Stromnetze, Energiespeicher und

andere Maßnahmen zur Systemintegration erneuerbarer Energien. Nach Angaben des Bundesumweltministeriums wird der Investitionsbedarf für das Gelingen der Energiewende in Deutschland bis 2020 rund 250,8 Milliarden Euro betragen (vgl. Abbildung 1). Der größte Investitionsbedarf fällt in den Ausbau der erneuerbaren Energien.

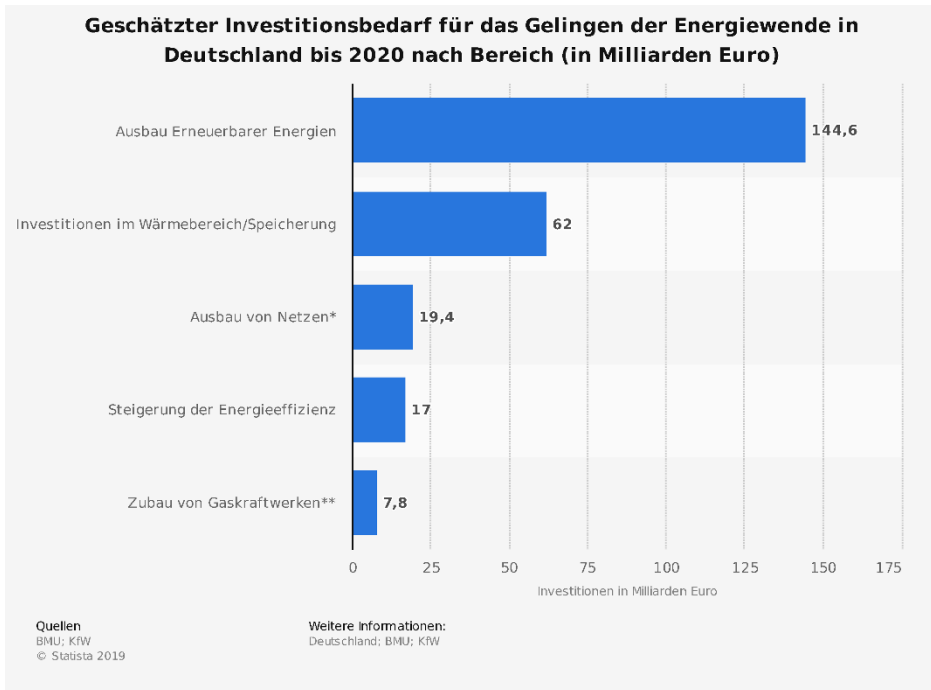


Abb. 1: Geschätzter Investitionsbedarf für das Gelingen der Energiewende in Deutschland bis 2020 nach Bereich (Quelle: BMUB; KfW© Statista 2016).

Eine weitere, wichtige Herausforderung im Bereich der zu tätigen Investitionen in Windkraft sowie erneuerbare Wärmeerzeugung gewinnt bis 2020 an Gewicht, hingegen wird sich das Investitionsvolumen in Photovoltaik voraussichtlich reduzieren, da die Kosten pro Anlage deutlich gefallen sind und die Gesamtleistung der geförderten Anlagen begrenzt wurde (Blazejczak u. a. 2013). Zugleich ist bei anderen Technologien von wachsenden Investitionsvolumina auszugehen, wie zum Beispiel bei der Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich. Der Investitionsbedarf ersetzt zu einem gewissen Teil Ersatz-

und Neuinvestitionen in Anlagen und Infrastrukturen der konventionellen Strom- und Wärmeversorgung (Blazejczak u. a. 2013).

Die Herausforderung im Rahmen der Investitionen besteht vor allem in der Gestaltung geeigneter Rahmenbedingungen, durch die private Investitionen stimuliert und realisiert werden. Die für die Energiewende erforderlichen Investitionen in installierte Leistungen von erneuerbaren Energietechnologien (ohne Pumpspeicherkraftwerke) wurden zum Beispiel bisher zu großen Anteilen von Privathaushalten (ca. 35%) und Gewerbebetreibenden (ca. 14%) getätigt (trend:research 2012). Ohne ein stärkeres finanzielles Engagement von Großinvestoren wird es künftig jedoch nicht gelingen, die Energiewende zu finanzieren. Auch die großen Energieversorger benötigen für umfangreiche Investitionen in ihre Projekte Fremdkapital. Hierzu bedarf es stabiler Rahmenbedingungen, wie zum Beispiel das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), Zuschussförderungen im Gebäudebestand, ordnungsrechtliche Vorgaben oder Quotierungen.

### Ressourcenherausforderung

Bei der Entwicklung und dem Einsatz neuer Technologien zur technischen Umsetzung der Energiewende besteht die Herausforderung darin, die Nutzung von kritischen Ressourcen zu vermeiden. Die Einschätzung einer Ressource als „kritisch“ umfasst dabei die langfristige Verfügbarkeit des jeweiligen Rohstoffes, die Versorgungssituation, die Recyclingfähigkeit und die Umweltbedingungen der Förderung. Dies betrifft vor allem Schlüsseltechnologien, zu deren Herstellung kritische Ressourcen verwendet werden. Hierdurch könnten zukünftig neue Engpasssituationen entstehen.

Eine Studie des Wuppertal Instituts (2014) macht deutlich, dass die geologische Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe für den geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland grundsätzlich keine limitierende Größe darstellt. Möglicherweise kann aber nicht jede Technologievariante uneingeschränkt zum Einsatz kommen.

Von den untersuchten Technologien wurden als kritisch in Bezug auf die Versorgung mit mineralischen Rohstoffen einzelne Komponenten bzw. Subtechnologien der Windkraft, der Photovoltaik sowie der Batteriespeicherung identifiziert. Für diese Technologien bestehen jedoch unkritische Alternativen, die in Zukunft verstärkt zum Einsatz kommen könnten oder bereits heute marktdominierend sind. Nichtsdestotrotz wird geschlussfolgert, dass insbesondere im Stromsektor ein besonderes Augenmerk auf die Verwendung

kritischer Ressourcen gelegt werden sollte. Eine unkritische Alternative im Bereich der Solarenergie sind beispielsweise Solarthermietechnologien oder siliziumbasierte kristalline Photovoltaikanlagen. Auch wenn die Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe für die relevanten Technologien kein Problem darstellt, sollten mögliche Versorgungsrisiken aufgrund von Abhängigkeiten von wenigen Lieferländern und Nutzungskonkurrenzen beachtet werden. Obwohl hier derzeit kein dringender Handlungsbedarf gegeben ist, sollten die abgeleiteten Herausforderungen aufgrund der langen Vorlaufzeit in Forschung und Entwicklung zügig umgesetzt werden, so dass „kritische“ Situationen im Stromsektor von vornherein vermieden werden können. Eine zentrale Empfehlung der Studie ist es, die Erhöhung der Ressourceneffizienz und der Recyclingfähigkeit bereits bei der Technologieentwicklung in den Fokus zu stellen.

### Die Energiewende als gesellschaftliche Herausforderung

Die Energiewende kann nur als Gemeinschaftswerk von Bürgern, Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Wissenschaft gelingen. Diese Akteursvielfalt mit multiplen Rollen, Perspektiven und Verantwortlichkeiten bedingt eine Reihe an Interessen, Ziel- und Ebenenkonflikten zwischen den involvierten Gruppen. Ebenso ist für die Umsetzung der avisierten Veränderungsmaßnahmen im Rahmen der Energiewende eine breite Akzeptanz möglichst vieler unterschiedlicher gesellschaftlicher Akteursgruppen notwendig. Dabei ist eine öffentliche Akzeptanz im Sinne der Zustimmung innerhalb der Bevölkerung oder betroffener Anwohner nicht ausreichend. Vielmehr bedarf es ebenso der klaren Positionierung und des beständigen Wirkens übergeordneter Entscheidungsträger aus Politik, Verwaltung und Wirtschaft.

Eine besondere Chance zur Überwindung von Ziel- und Ebenenkonflikten stellen Beteiligungsmöglichkeiten für alle Akteursgruppen in energierelevanten Planungs- und Entscheidungsprozessen dar. Trotz existierender politischer Willensbekundungen und einiger guter Ansätze findet die tatsächliche Umsetzung von Beteiligungsstrategien in der Praxis nur bedingt statt. Ein Beispiel dafür sind die zumeist an Klimaschutzgesetze auf Bundeslandebene gekoppelten Beteiligungsprozesse für Klimaschutzpläne. Derartige Prozesse haben beispielsweise in Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz stattgefunden und in etwas anderer Ausgestaltung (verbunden mit einem Energiekonzept der Landesregierung) auch in Baden-Württemberg. Kurz vor Ende des Jahres 2016 wurde überdies ein Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung vom Kabinett

## Die Energiewende – Zwischen Erfordernis und Ereignis

verabschiedet, dessen Erarbeitung ebenfalls einen umfassenden Beteiligungsprozess beinhaltet. Die Beteiligungsformate sind in der Regel nicht auf einzelne Sektoren oder Handlungsfelder beschränkt, sondern beziehen alle Sektoren in Form von Arbeitsgruppen ein, um einen ganzheitlichen klimapolitischen Ansatz zu ermöglichen.

Tab. 1: Klimaschutzgesetze und -pläne in den Bundesländern (Quelle: Fischeschick u. a. 2015)

<b>Tab.: Klimaschutzgesetze und -pläne in den Bundesländern (Stand: April 2015)</b>				
	Klimaschutzziele (sofern nicht anders angegeben jeweils gegenüber 1990)	Klimaschutzgesetz	Klimaschutzplan/-konzept	Partizipatives Verfahren
<b>Baden-Württemberg</b>	2020: -25 % THG 2050: -90 % THG	ja	„Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept Baden-Württemberg“ von 2014	ja
<b>Bayern</b>	2020: Minderung jährlicher energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen auf deutlich unter sechs Tonnen pro Einwohner	nein	„Klimaprogramm Bayern 2020“ von 2007 (Aktualisierung 2013)	nein
<b>Berlin</b>	2020: -40 % CO <sub>2</sub> <sup>1</sup> 2030: -60 % CO <sub>2</sub> 2050: -85 % CO <sub>2</sub>	Entwurf	im Gesetzesentwurf vorgesehen	im Gesetzesentwurf vorgesehen
<b>Brandenburg</b>	2020: -40 % CO <sub>2</sub> 2030: -75 % CO <sub>2</sub>	nein	„Energiesstrategie 2030 des Landes Brandenburg – Katalog der strategischen Maßnahmen“ von 2012	nein
<b>Bremen</b>	2020: -40 % CO <sub>2</sub> <sup>2</sup>	Entwurf	im Gesetzesentwurf vorgesehen	Beteiligung der Gemeinden im Gesetzesentwurf vorgesehen
<b>Hamburg</b>	nein	nein	„Masterplan Klimaschutz“ von 2013	Einholung von Stellungnahmen
<b>Hessen</b>	laufender Prozess	nein	laufender Prozess	–
<b>Mecklenburg-Vorpommern</b>	nein	nein	„Energiepolitische Konzeption für Mecklenburg-Vorpommern“ (Entwurfsfassung)	Vorschläge zu Zielen und Maßnahmen von Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen, Verbänden und Organisationen
<b>Niedersachsen</b>	laufender Prozess	laufender Prozess	laufender Prozess	–
<b>Nordrhein-Westfalen</b>	2020: -25 % THG 2050: -80 % THG	ja	Klimaschutzplan Nordrhein-Westfalen (Vorlage zur Beschlussfassung im Landtag)	ja
<b>Rheinland-Pfalz</b>	2020: -40 % THG 2050: -90-100 % THG	ja	Klimaschutzkonzept Rheinland-Pfalz (in Erarbeitung)	ja
<b>Saarland</b>	nein	nein	Masterplan „Neue Energie für das Saarland“ von 2011	nein
<b>Sachsen</b>	2020: 25 % Minderung der jährlichen CO <sub>2</sub> -Emissionen des Nicht-Emissions-handelssektors <sup>3</sup> gegenüber 2009	nein	„Energie- und Klimaprogramm Sachsen 2012“ von 2013	nein
<b>Sachsen-Anhalt</b>	nein	nein	„Klimaschutzprogramm 2020 des Landes Sachsen-Anhalt“ von 2010	nein
<b>Schleswig-Holstein</b>	2020: -40 % THG <sup>4</sup> 2050: -80-95 % THG	laufender Prozess	jährliche Energiewende- und Klimaschutzberichte auch mit programmatischen Maßnahmenanteil	nein
<b>Thüringen</b>	nein	nein	nein	–
<b>Bundesrepublik Deutschland</b>	2020: -40 % THG 2050: -80-95 % THG	nein	in Vorbereitung	in Vorbereitung

<sup>1</sup> Ziele gemäß dem Entwurf für ein Berliner Energiewendegesetz

<sup>2</sup> Ziel gemäß dem Entwurf für ein Bremer Klimaschutzgesetz; ohne Stahlindustrie

<sup>3</sup> Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, private Haushalte und Verkehr

<sup>4</sup> Gemäß „Energiewende- und Klimaschutzgesetz Schleswig-Holstein – Eckpunkte und Zeitplanung“ von 2014

Es bedarf ganzheitlicher Konzepte und Strategien, welche die akzeptanzrelevanten Faktoren akteursspezifisch erfassen, die verhaltenswirksamen Rahmenbedingungen berücksichtigen und beteiligungsorientierte Lösungsansätze ermöglichen. Weiterhin ist ein Kompetenzaufbau auf Seiten der Verfahrensträger notwendig. Die Berücksichtigung der Bewertungs- und Verhaltensebenen ermöglicht die Entwicklung abgestimmter Anlagenkonzepte, nutzerorientierte Technologieentwicklungen sowie die Förderung von nachhaltigen Energieverbrauchsmustern. Die Schaffung einer konstruktiven Dialogkultur sowie der Vorrang offener Diskussionen und Entscheidungen sind wichtige Voraussetzungen für die Umsetzung der Energiewende.

Ein besonderer Akzent sollte bei der Einbeziehung von Stakeholdern und der Öffentlichkeit in energierelevante Entscheidungs- und Planungsprozesse darauf gelegt werden, dass die Energiewende in hohem Maße von äußeren Faktoren beeinflusst wird. Dies wird in energiepolitischen Fachdiskussionen häufig kaum berücksichtigt, gilt aber insbesondere für die sogenannten gesellschaftlichen Megatrends (zum Beispiel Urbanisierung, Individualisierung, Migration, demographischer Wandel oder Sicherheit). In dem aus der Transitionstheorie stammenden Konzept der „Multi Level Perspective“ nennt man die äußeren Treiber von Transformationsprozessen bezeichnenderweise deshalb auch „landscape“, sozusagen umliegende Landschaft, die derartige tiefgreifende Veränderungsprozesse beeinflusst. Es handelt sich dabei gemeinhin um gesellschaftlich bedeutende Entwicklungen, Trends und Treiberfaktoren, die eine wichtige Position auf der gesellschaftspolitischen Agenda innehaben und sich aus dem Veränderungsgegenstand selbst heraus nicht und schon gar nicht schnell verändern lassen.

Darüber hinaus sind quer liegende Themenfelder zu beachten, die in unterschiedlicher Weise mit den genannten Entwicklungen wechselwirken bzw. im Sinne von technischen Entwicklungen Lösungspotential haben. Hierzu gehört sicher die Digitalisierung als Zukunftstrend. In Bezug auf die Energiewende besteht diesbezüglich eine wechselseitige Abhängigkeit: So kann die Digitalisierung gleichzeitig ausschlaggebender Faktor für die Optimierung von Energieinfrastrukturen und die Beschleunigung der Energiewende sein (Stichwort smart energy, smart services, Steuerung virtueller Kraftwerke), ihr Einsatz erfordert auf der anderen Seite selber aber auch Ressourcen und Energie.

Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist es von essentieller Bedeutung, die Zusammenhänge mit den Megatrends und wechselseitigen Abhängigkeiten besser zu durchdringen. Nur dann kann es gelingen, sehr früh mögliche Konfliktfelder zu erkennen und gegenzusteuern oder Synergieeffekte zu identifizieren, deren Aufgreifen beschleunigend wirken kann. Bisher ist dies

allerdings weder hinreichend wissenschaftlich analysiert worden, noch in der Praxis in adäquater Weise durchdrungen worden.

### Innovationsherausforderung

Die Energiewende erfordert einen grundlegenden Umbau der technischen Komponenten des Energiesystems. Etablierte Technologien zur Energieerzeugung, -nutzung und -verteilung werden durch neuartige Technologien ersetzt oder flankiert. Diese neuartigen Technologien befinden sich teilweise noch in einem Pilot- oder Demonstrationsstadium und erfordern weitere Anstrengungen in Forschung und Entwicklung (F&E), um in einen breiten Markt eingeführt zu werden. Dies verdeutlicht, dass die Energiewende in hohem Maße mit der Entwicklung und Verbreitung technischer Innovationen verknüpft ist und verstärkt als Innovationsprozess verstanden werden sollte.

Innovationen beschreiben einen Wandel über einen gewissen Zeitraum. In der traditionellen Schule der Innovationstheorien ist hiermit in der Regel ein technologischer Wandel gemeint. In den letzten Jahren ist jedoch die Einsicht gewachsen, dass Transformationsprozesse wie die Energiewende nur im Verbund mit unterstützenden gesellschaftlichen, politischen und sozialen Rahmenbedingungen erreicht werden können. Die Energiewende erfordert deshalb ein breites, nicht allein auf technologische Veränderungsprozesse verengtes Innovationsverständnis, das auch soziale Innovationen einbezieht. Soziale Innovationen beschreiben eine von bestimmten Akteuren ausgehende intentionale Neukonfiguration sozialer Praktiken in bestimmten Handlungsfeldern mit dem Ziel, Probleme oder Bedürfnisse besser zu lösen als dies auf der Grundlage etablierter Praktiken möglich ist (Howaldt u. a. 2010). Die sozialen Innovationen weisen dabei eine immaterielle Struktur auf. Beispiele sind neue Ansätze in Bereichen von Zivilcourage und Zivilgesellschaft oder die Schaffung von Bürgerkommunen. Dabei kann erst dann von sozialen Innovationen gesprochen werden, wenn diese kontextabhängig akzeptiert und schließlich als neue soziale Praxis zur Routine werden (Jaeger-Erben u. a. 2013). Soziale Innovationen sind mit dem Wertewandel in der Bevölkerung verbunden und können mit technischen Innovationen (z. B. Carsharing) in enger Verbindung stehen.

Die Realisierung technologischer und sozialer Innovationen ist in hohem



Maße von den Strategien und Tätigkeiten von Akteuren aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft abhängig. Am Beispiel ausgewählter Unternehmen der energieintensiven Industrie zeigt sich, dass insbesondere die Entscheidungs- und Kooperationsstrukturen sowie die Bereitschaft eines Unternehmens, in gewissem Maße ökonomische Risiken einzugehen, dessen Bereitschaft zur Entwicklung, Erprobung und Anwendung innovativer Technologien beeinflussen (Vallentin u. a. 2016).

### Transformationsherausforderung

Die Energiewende ist dadurch gekennzeichnet, dass Wirtschaftssektoren, Technologien, verschiedene politische Entscheidungsebenen und gesellschaftliche Sub-Systeme verstärkt miteinander verknüpft und integriert werden müssen. So erfordert beispielsweise der Ausbau erneuerbarer Energien den Ausbau von Verteil- und Speicherinfrastrukturen, eine Flexibilisierung energieintensiver Industrieprozesse sowie eine Veränderung etablierter Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft. Gleichzeitig ergibt sich entsprechend der Potentiale erneuerbarer Energien eine geographische Verlagerung von Energieerzeugungsschwerpunkten. Hieraus resultieren soziale und strukturpolitische Veränderungen in den von Veränderungen betroffenen Regionen.

Aufgrund derartig komplexer Wechselwirkungen erfordert die Energiewende ein systematisches Transformationsmanagement. Dabei geht es unter anderem darum, die zeitlichen Dynamiken der Energiewende zu antizipieren. Dies umfasst beispielsweise folgende Aspekte:

- Wann sind welche technologischen Veränderungen in den einzelnen Wirtschaftssektoren erforderlich, um die Ziele der Energiewende zu erreichen?
- Mit welchen sozio-ökonomischen Implikationen sind diese Veränderungen voraussichtlich verbunden und wann treten sie voraussichtlich ein?
- Welche politischen Interventionen und Instrumente sind zu welchem Zeitpunkt notwendig, um derartige Veränderungen einzuleiten und ihre sozio-ökonomischen Implikationen abzufedern?

- Wann sind Maßnahmen notwendig, um die Entwicklung neuer Perspektiven in den betroffenen Sektoren oder auf den betroffenen politischen Entscheidungsebenen einzuleiten?

Die Energiewende macht demnach einen langfristig ausgerichteten, präventiven Politikansatz erforderlich, der zu erwartende Veränderungen frühzeitig erkennt und diese mit vorbereitenden politischen Maßnahmen flankiert.

Die Aufgabe der Wissenschaft ist es vor diesem Hintergrund, die Forschungs- und Entwicklungsbedarfe frühzeitig zu identifizieren. Hierfür erscheint eine ganzheitliche Bewertung der technologischen Möglichkeiten und Innovationspotentiale sinnvoll. Dies umfasst einerseits die Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien für die Energiewende für technisch-ökonomische Verbesserungen (z. B. Kostendegression, Effizienzsteigerungen) und andererseits die Bereitstellung, Markteinführung oder -durchdringung von ermöglichenden Technologien (z. B. Netze und Speicher). Überdies gilt es, heute noch nicht bekannte Technologielücken frühzeitig zu identifizieren, die durch die zukünftig wachsenden Herausforderungen entstehen können und geschlossen werden müssen.

In Bezug auf die Ausrichtung der Forschung ist es zudem wichtig, stärker als bisher über die klassische projektformige F&E-Förderung hinauszugehen und Pilot- und Demonstrationsvorhaben sowie in ausgewählten Fällen auch Modellvorhaben (d. h. Projekte mit geringem F&E-Charakter) zu fördern. Es geht mit diesen Maßnahmen darum, Entwicklung und Umsetzung von neuen technologischen Ansätzen zu beschleunigen, Risiken im Entwicklungsprozess abzusichern und einen wichtigen Beitrag zu leisten, das sogenannte „Tal des Todes“ zu überwinden und damit den Einstieg in die Phase der wirtschaftlichen Verwertung zu schaffen. Schließlich geht es mit derartigen Vorhaben auch darum herauszukristallisieren (und ggf. auszutesten), wie der notwendige institutionelle, soziale, kulturelle und politische Rahmen für eine zeitoptimierte Politikstrategie zur Energiewende zu gestalten ist. Hierfür kann es hilfreich sein, quantitative Modelle zur langfristigen Entwicklung des Energiesystems und seiner Komponenten mit einem qualitativen Forecasting-Ansatz zu flankieren und auf dieser Basis langfristige politische Roadmaps zu entwickeln.

### Schlussfolgerung

Um den komplexen Herausforderungen der Energiewende zu begegnen, ist es notwendig, ihre Steuerung als partizipatorischen und reflexiven Prozess zu gestalten. Akteure aus Politik, Wirtschaft, Gesellschaft, Verbänden und

Wissenschaft benötigen zum einen Anreize, um sich an der Realisierung der Energiewende zu beteiligen. Zum anderen benötigen die Akteure und Staaten auch Sanktionen sowie korrigierende Maßnahmen, wenn sie sich zum Beispiel nicht an die gemeinsamen Vorgaben halten. Gemäß Ernst u. a. (2015) besteht ein effektiver Instrumentenmix aus regulatorischen, kommunikativen, anreizorientierten und planerischen Maßnahmen sowie aus Monitoring-Prozessen.

Die Transformation des Energiesystems bedeutet eine komplexe Systeminnovation, die auf unterschiedlichsten Ebenen erfolgt. Auf diesen Ebenen findet die Energiewende mit verschiedenen Tempi, Intensitäten, Intensionen, Richtungen und Akteuren statt. Der Wandel des Energiesystems ist demnach hinsichtlich seines Verlaufes und den jeweiligen Erscheinungsformen sehr unterschiedlich, gemeinsam ist ihnen jedoch der Wandel von einem alten Gleichgewichtszustand zu einem neuen (Jacob u. a. 2014). Eine verantwortungsvolle, partizipative und reflexive Governance muss auf allen Ebenen stattfinden, sowohl beim Agenda-Setting als auch in der Phase der Implementierung. Diese Governance erfordert ein hohes Maß an Flexibilität und die Fähigkeit, sich immer wieder neu den geänderten Bedingungen und verbessertem Wissen anzupassen (Ernst u. a. 2015). In der Perspektive von Transformationen sollte eine Steuerung von Versuch und Irrtum lernen und sich eben daraus weiterentwickeln.

## Bibliographie

- acatech/Leopoldina/Akademienunion (Hrsg.) 2015. *Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Stabilität im Zeitalter der erneuerbaren Energien*. Schriftenreihe zur wissenschaftsbasierten Politikberatung. Online im Internet: UR: [https://www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user\\_upload/Publikationen/Stellungnahmen/ESYS\\_Stellungnahme\\_Flexibilitaetskonzepte.pdf](https://www.akademienunion.de/fileadmin/redaktion/user_upload/Publikationen/Stellungnahmen/ESYS_Stellungnahme_Flexibilitaetskonzepte.pdf) [Stand: 17.06.2019]
- Blazejczak, Jürgen, Diekmann, Jochen, Edler, Dietmar, Kemfert, Claudia, Neuhoff, Karsten & Schill, Wolf-Peter 2013. Energiewende erfordert hohe Investitionen. *DIW Wochenbericht* 26, 19–31.
- Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit/ BMUB & Kreditanstalt für Wiederaufbau/ KfW 2016. *Geschätzter Investitionsbedarf für das Gelingen der Energiewende in Deutschland bis 2020 nach Bereich (in Milliarden Euro)*. Statista 2016. Online im Internet: URL:

- <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/197101/umfrage/investitionen-fuer-die-energiewende-in-deutschland/> [Stand: 05.12.2016].
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2016. *Stromnetze der Zukunft*. Online im Internet: URL: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Netze-und-Netzausbau/stromnetze-der-zukunft.html> [Stand: 03.11.2016].
- Bundesregierung 2013. *Bundesregierung | Energiekonzept | Fragen und Antworten zur Energiewende*. Online im Internet: URL: [https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/\\_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.pdf?__blob=publicationFile&v=5) [Stand: 03.11.2016].
- Bündnis 90/ Die Grünen 2011. *Stromnetze 2020plus – jetzt in die Energiezukunft investieren*. Online im Internet: URL: [https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag\\_de/fraktion/beschluesse/stromnetze\\_2020plus.pdf](https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/fraktion/beschluesse/stromnetze_2020plus.pdf) [Stand: 29.09.2016].
- Deep Decarbonization Pathways Project 2015. *Pathways to deep decarbonization 2015 report*. Sustainable Development Solutions Network (SDSN) and the Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI). Online im Internet: URL: [http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2016/03/DDPP\\_2015\\_REPORT.pdf](http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2016/03/DDPP_2015_REPORT.pdf) [Stand: 29.11.2016].
- Deep Decarbonization Pathways Project 2015. *Pathways to deep decarbonization 2015 countries*. Sustainable Development Solutions Network (SDSN) and the Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI). Online im Internet: URL: <http://deepdecarbonization.org/countries/> [Stand: 24.12.2016].
- Ethik-Kommission Sichere Energieversorgung 2011. *Deutschlands Energiewende: Ein Gemeinschaftswerk für die Zukunft 2011*. Berlin: Presse- u. Informationsamt der Bundesregierung. Online im Internet: URL: [https://www.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/\\_migrated/media/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission\\_property\\_publicationFile.pdf](https://www.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/_migrated/media/2011-05-30-abschlussbericht-ethikkommission_property_publicationFile.pdf) [Stand: 16.11.2016].
- Dütschke, Elisabeth, Wohlfarth, Katharina, Schmidt, Alexandra, Pietzner, Katja, Schwarz, André, Carpentier, Rike & Schumann, Diana 2016. Differences in the public perception of CCS in Germany

- depending on CO<sub>2</sub> source, transport option and storage location. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 53(10), 149–159. doi: 10.1016/j.ijggc.2016.07.043.
- Dütschke, Elisabeth 2014. *Akzeptanz von CO<sub>2</sub>-Speicherprojekten in Deutschland – Eine Tiefenanalyse basierend auf Fallstudien. Bericht zu Arbeitspaket 1 im Projekt Chancen für und Grenzen der Akzeptanz von CCS in Deutschland „CCS-Chancen“*. Karlsruhe: Fraunhofer ISE; Wuppertal: Wuppertal Institut; Jülich: FZ Jülich.
- Ernst, Andreas u. a. 2015. *Aspekte der Energiewende aus sozialwissenschaftlicher Perspektive*. Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft). München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. Online im Internet: URL: [http://www.acatech.de/fileadmin/user\\_upload/Baumstruktur\\_nach\\_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS\\_Analyse\\_Aspekte\\_der\\_Energiewende.pdf](http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/ESYS_Analyse_Aspekte_der_Energiewende.pdf). [Stand: 16.11.2016].
- Fischedick, Manfred, Lechtenböhmer, Stefan, Richwien, Martina, Espert, Valentin 2015. Klimaschutzpläne und -gesetze – partizipationsorientierte Instrumente vorausschauender Klima- und Standortpolitik. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 65. Jg. Heft 5, 18–21.
- Fischedick, Manfred, Leggewie, Claus, Engler, Steven, Pietzner, Katja & Vallentin, Daniel 2014. *Gemeinschaftswerk Energiewende in Nordrhein-Westfalen : der wissenschaftliche Beitrag des Virtuellen Instituts „Transformation – Energiewende NRW“*. Online im Internet: URL: <http://epub.wupperinst.org/frontdoor/index/index/docId/5545>. [Stand: 10.11.2016].
- Howaldt, Jürgen & Schwarz, Michael 2010. Soziale Innovation – Konzepte, Forschungsfelder und –perspektiven, in Howaldt, Jürgen & Jacobsen, Heike (Hrsg.): *Soziale Innovation*. Wiesbaden: VS/ GWV Fachverlage.
- Jacob, Klaus Bär, Holger & Graaf, Lisa 2014. *Was sind Transformationen? Begriffliche und theoretische Grundlagen zur Analyse von gesellschaftlichen Transformationen*. Teilbericht 1 des Projekts Nachhaltiges Deutschland 2030 bis 2050. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Berlin: Freie Universität Berlin, Forschungsstelle für Umweltpolitik.
- Jaeger-Erben, Melanie, Rückert-John, Jana, Schäfer, Martina (Hrsg.) 2013. *Soziale Innovationen für nachhaltigen Konsum -*

- Wissenschaftliche Perspektiven, Strategien der Förderung und gelebte Praxis. Berlin: Institut für Sozialinnovation.
- Mattes, Jannika, Huber, Andreas & Koehrsen, Jens 2015. Energy transitions in small-scale regions: what we can learn from a regional innovation systems perspective. *Energy Policy* 78, 255–264.
- Pietzner, Katja & Schumann, Diana 2012. Akzeptanzforschung zu CCS in Deutschland. Aktuelle Ergebnisse, Praxisrelevanz, Perspektiven. München: oekom.
- Pietzner, Katja, Schwarz, André, Duetschke, Elisabeth & Schumann Diana 2014. Media coverage of four Carbon Capture and Storage (CCS) projects in Germany : Analysis of 1,115 regional newspaper articles. *Energy Procedia*, 7141–7148.
- Schüle, Ralf, Venjakob, Johannes, Acksel, Britta, Berlo, Kurt, Best, Benjamin, Bläser, Daniel, Lucas, Rainer, Reicher, Christa, Schmitt, Lea & Wagner, Oliver 2015. *Energiewende als gesellschaftlicher Transformationsprozess. Forschungsansatz und Begriffsverständnis des Rahmenprogramms „Energiewende Ruhr“*. Wuppertal, Essen, Dortmund: Stiftung Mercator. Online im Internet: URL: [http://www.energiewende-ruhr.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Berichte\\_und\\_Dokumente/Energiewende\\_als\\_gesellschaftlicher\\_Transformationsprozess.pdf](http://www.energiewende-ruhr.de/fileadmin/dokumente/Downloads/Berichte_und_Dokumente/Energiewende_als_gesellschaftlicher_Transformationsprozess.pdf) [Stand: 24.12.2016].
- trend:research 2012. Kurzstudie. Anteile einzelner Marktakteure an Erneuerbare Energien-Anlagen in Deutschland (2. Auflage). Online im Internet: URL: Institut für Trend- und Marktforschung. <http://www.trendresearch.de/studien/16-0188-2.pdf?41c6806d6a74510c0999bb1089420467> [Stand: 02.12.2016].
- United Nations 2015. *Adoption of the Paris Agreement*. Draft decision -/CP.21 No. FCCC(CP/2015/L.9/Rev.1. Proposal by the President. Paris.
- Wuppertal Institut 2014. *KRESSE – Kritische mineralische Ressourcen und Stoffströme bei der Transformation des deutschen Energieversorgungssystems*. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter Mitarbeit von K. Arnold, J. Friege, Ch. Krüger, A. Nebel, M. Ritthoff, S. Samadi, O. Soukup, J. Teubler, P. Viebahn, K. Wiesen. Wuppertal: Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Online im Internet unter: URL: <http://wupperinst.org/de/projekte/details/wi/p/s/pd/38/> [Stand: 24.12.2016].

Fischedick, Witte, Vallentin

Vallentin, Daniel, Fischedick, Martin, Knoop, Katharina, Mersmann, Florian, Mölter, Helena, Schneider, Clemens, Schüwer, Dietmar, Tschache, Björn & Zeiss, Christoph 2016. *Klimaschutz- und Energiewende-Innovationen in der (energieintensiven) Industrie. Fallstudien zur Entstehung innovativer Prozesse und Produkte.* Projektbericht. Berlin/Wuppertal.